



REVISTA
Casa da

ISSN 2316-8056

GEOGRAFIA
de Sobral

ANÁLISE COMPARATIVA DE LINEAMENTOS EXTRAÍDOS COM BASE EM DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO DA REGIÃO NOROESTE DO CEARÁ

Comparative analysis of lineaments extracted Based on remote sensing data from the Northwest region of Ceará

Análisis comparativo de lineamientos extraídos con base en datos producidos por teledetección remota de la región Noroeste de Ceará

 <https://doi.org/10.35701/rcgs.v27.1022>

Histórico do Artigo:

Recebido em 20 de maio de 2024

Aceito em 07 de novembro de 2024

Publicado em 06 de fevereiro de 2025

Dayana Cristina Macedo de Melo¹

Cynthia Romariz Duarte²

Idembergue Barroso Macedo de Moura³

Sebastián González Chiozza⁴

RESUMO

Os lineamentos analisados neste trabalho são referentes à uma área situada na região Noroeste do Estado do Ceará, que abrange parte dos municípios de Cariré, Pacujá, Graça e Reriutaba. O foco deste trabalho é a identificação de lineamentos estruturais negativos a partir de produtos de sensoriamento remoto. O objetivo é promover uma análise comparativa dos lineamentos extraídos em diferentes produtos de sensoriamento remoto. A extração dos lineamentos consistiu na identificação de lineamentos relacionados à tectônica rúptil, com base na rede de drenagem, utilizando produtos derivados de modelos digitais de elevação e imagens ópticas diferentes e processados em épocas distintas: SRTM (pré-processado no Projeto Topodata) com imagens Landsat 7 ETM+, em 2014 e Copernicus DEM com imagens da câmera WPM do satélite CBERS 04, em 2023. Para a mesma área, foram extraídos nos anos de 2014 e 2023, respectivamente, 214 e 241 lineamentos, com diferentes distribuições de frequências de direções azimutais evidenciadas por meio dos diagramas de roseta. O aumento quantitativo de lineamentos extraídos e as diferenças nas direções indicadas pelo diagrama de roseta estão relacionados à melhor qualidade dos produtos de sensoriamento remoto utilizados na identificação dos lineamentos em 2023.

Palavras chave: Lineamento. Sensoriamento remoto. Geoprocessamento.

¹ Mestra em Geologia pela Universidade Federal do Ceará (UFC).

Email: dayanacrys@yahoo.com.br

 <https://orcid.org/0009-0007-1880-9448>

² Professora Adjunta do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará (UFC).

Email: cynthia.duarte@ufc.br

 <https://orcid.org/0000-0002-0255-4045>

³ Pesquisador em Geociências do Serviço Geológico do Brasil (SGB).

Email: idembergue.moura@sgb.gov.br

 <https://orcid.org/0009-0004-7167-9409>

⁴ Professor Adjunto do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará (UFC):

Email: sebastian@ufc.br

 <https://orcid.org/0000-0003-4245-9883>

ABSTRACT

The lines analyzed in this work refer to an area located in the Northwest region of the Ceará State, which covers part of the municipalities of Cariré, Pacujá, Graça and Reriutaba. The focus of this work is the identification of negative structural lineaments from remote sensing products. The goal is to promote a comparative analysis of the lineaments extracted in different remote sensing products. The extraction of lineaments consisted of identifying lineaments related to brittle tectonics, based on the drainage network, using products derived from digital elevation models and different optical images, processed at different times: SRTM (pre-processed in the Topodata Project) with images from Landsat 7 ETM+, in 2014, and Copernicus DEM, with images from the WPM camera on the CBERS 04 satellite, in 2023. For the same area, 214 and 241 lineaments were extracted in the years 2014 and 2023, respectively, with different frequency distributions of azimuthal directions evidenced through rosette diagrams. The quantitative increase in extracted lineaments and the differences in the directions indicated by the rosette diagram are related to the better quality of remote sensing products used to identify lineaments in 2023.

Keywords: Lineament. Remote Sensing. Geoprocessing.

RESUMEN

Los lineamientos analizados en este trabajo se refieren a un área ubicada en la región Noroeste del Estado de Ceará, que abarca parte de los municipios de Cariré, Pacujá, Graça y Reriutaba. El enfoque de este trabajo es la identificación de lineamientos estructurales negativos a partir de productos de teledetección remota. El objetivo es promover un análisis comparativo de los lineamientos extraídos en diferentes productos de teledetección remota. La extracción de los lineamientos consistió en la identificación de lineamientos relacionados con la tectónica frágil, basados en la red de drenaje, utilizando productos derivados de modelos digitales de elevación e imágenes ópticas diferentes y procesados en épocas distintas: SRTM (preprocesado en el Proyecto Topodata) con imágenes Landsat 7 ETM+, en 2014 y Copernicus DEM con imágenes de la cámara WPM del satélite CBERS 04, en 2023. Para la misma área, se extrajeron 214 y 241 lineamientos en 2014 y 2023, respectivamente, con diferentes distribuciones de frecuencia de direcciones acimutales evidenciadas en los diagramas de roseta. El aumento cuantitativo de los lineamientos extraídos y las diferencias en las direcciones indicadas por el diagrama de roseta están relacionados con la mejor calidad de los productos de teledetección remota utilizados en la identificación de los lineamientos en 2023.

Palabras clave: Lineamiento. Teledetección remota. Geoprocesamiento.

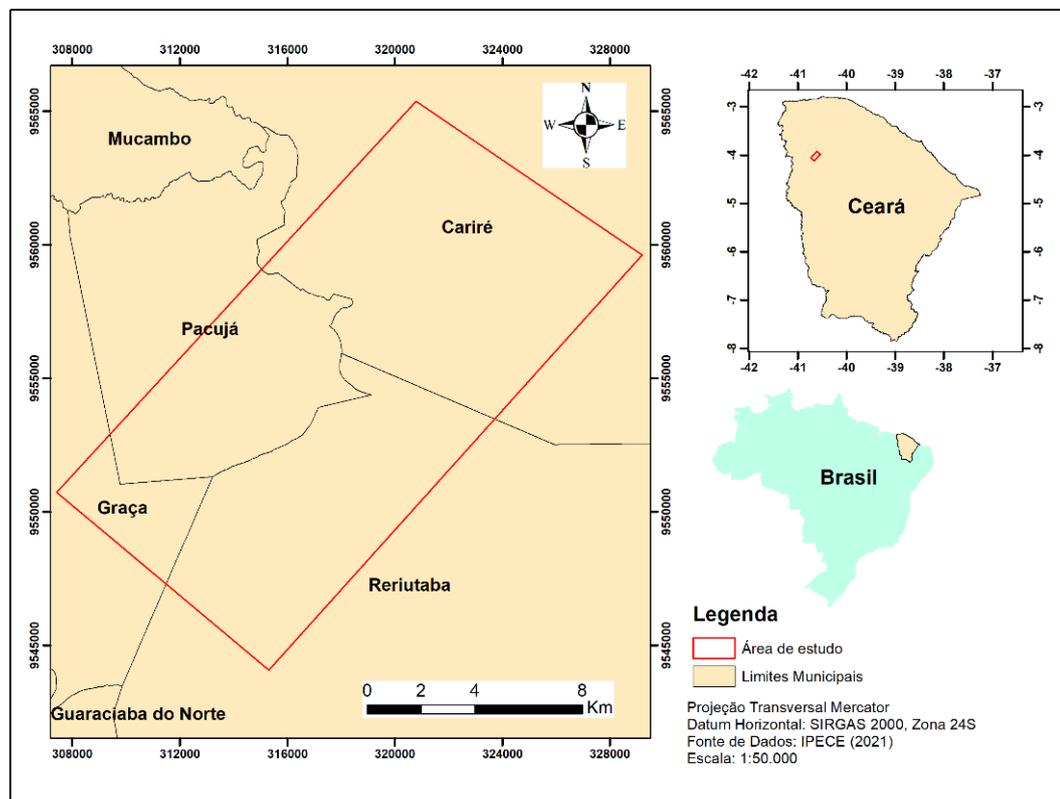
INTRODUÇÃO

Lineamentos são estruturas lineares mapeáveis na superfície terrestre que de acordo com conceito O'Leary *et al* (1976), refletem fenômenos de subsuperfície. O reconhecimento desses lineamentos retilíneos ou suavemente encurvados em níveis regionais pode ser realizado através do geoprocessamento aliado ao sensoriamento remoto, empregando métodos que possibilitam a caracterização das estruturas do arcabouço geológico estrutural de uma área.

Os lineamentos em foco neste trabalho são lineamentos negativos, que representam as linhas de fraqueza das rochas que podem estar associadas à tectônica rúptil da região. De acordo com a distinção proposta por Amaro e Strieder (1994) e Strieder e Amaro (1997), correspondem ao tipo 2, sendo o tipo de lineamento vinculado à estruturas frágeis (falhas ou juntas) que configuram feições geomorfológicas negativas retilíneas que normalmente truncam os limites litológicos. Esses lineamentos podem ser identificados em produtos de Sensoriamento Remoto com base na rede de drenagem.

A área de estudo está localizada na região noroeste do Ceará, compreende porções dos municípios Cariré, Pacujá, Graça e Reriutaba (Figura 1). Na sua contextualização geológica, a área abrange parte da Província Parnaíba (Bacia Parnaíba) e parte da porção setentrional da Província Borborema-PB (Almeida *et al.* 1977 e 1981), com presença das seguintes unidades litoestratigráficas de acordo com o mais recente mapa geológico do Ceará (Pinéo *et al.*, 2020): depósitos aluviais, sedimentos das bacias Jaibaras (Formação Pacujá e Formação Aprazível) e Parnaíba (Formação Ipú), e rochas de embasamento cristalino correspondentes ao Grupo Ceará (Unidade Independência) e ao Complexo Canindé do Ceará (Unidades Cariré e Paragnaisse Migmatítico). No contexto estrutural, a área está relacionada com a extremidade NE do lineamento Transbrasiliano (Schobbenhaus *et al.*, 1975, Fuck *et al.*, 2013), que no Ceará corresponde à zona de cisalhamento Sobral-Pedro II, com direção NE-SW. Esta estrutura de ordem regional está caracterizada por uma cinemática transcorrente dextral com presença de litótipos deformados por cisalhamento dúctil que variam de protomilonitos a ultramilonitos, apresentando também evidências de reativações posteriores em condições rúpteis (Quadros, 1996; Vauchez *et al.*, 2005).

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.



O objetivo deste trabalho consiste em identificar e analisar quantitativamente a distribuição e orientação dos lineamentos tectônicos presentes na área de estudo, extraídos em épocas distintas e a partir de diferentes produtos de sensoriamento remoto. Adicionalmente, objetiva-se realizar a análise comparativa desses produtos em função da qualidade dos resultados obtidos.

Materiais e Métodos

Os dados de sensoriamento remoto utilizados foram adquiridos e processados em diferentes épocas para estudos realizados na mesma área (Melo, 2014 e 2023).

Em 2014, utilizou-se dados de modelo digital de elevação da imagem radar da missão SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) pré-processada no Projeto Topodata (Valeriano, 2008) e imagem óptica do sensor Landsat 7 ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus).

Para cobrir a área de interesse foram utilizadas as articulações 03S41-ZN e 04S42- ZN do SRTM-Topodata, sendo necessária a confecção de um mosaico para junção de imagens e posterior recorte do polígono envoltório da área de estudo, que foi salvo em formato GeoTIFF.

A imagem do satélite Landsat 7 ETM+ utilizada faz parte da cena órbita/ponto 218/063 de 10/07/1999, disponibilizada para download pelo programa Global Land Cover Facility (GLCF, 2000) em parceria com a NASA, no Datum WGS 84.

Em 2023, foram utilizados o modelo digital de superfície dos dados Copernicus DEM, adquiridos pelo repositório de dados Open Topography (ESA, 2021) e a imagem óptica da Câmera Multiespectral Pancromática de Ampla Varredura (WPM) do satélite CBERS 04A, com Datum WGS 84, em formato GeoTIFF. A imagem óptica é de 20 de setembro de 2021, com nível de correção L4 (imagens ortoretificadas), e foi obtida gratuitamente no catálogo do INPE no site <http://www.dgi.inpe.br/catalogo/explore>.

Todos os dados foram reprojatados para SIRGAS 2000, onde utilizou-se as ferramentas do software ArcGIS 10.8 para integração e processamento dos mesmos.

Os dados dos modelos digitais de elevação foram submetidos às mesmas etapas de processamento, aplicando-se inicialmente a técnica de sombreamento de relevo, na qual simula-se uma iluminação artificial, através da aplicação de um filtro digital. Este filtro permite configurar os ângulos de elevação e azimute da fonte de iluminação artificial. Na seguinte etapa de processamento, os modelos digitais de elevação foram utilizados para realizar a extração automática das drenagens através dos interpoladores da ferramenta Hidrology, presente no módulo Spatial Analyst Tools, disponível no ArcGIS.

O tratamento das imagens ópticas para obter as combinações das diferentes bandas espectrais usando o sistema de cores Red - Green - Blue (RGB), com o intuito de identificar as feições de interesse (neste caso a drenagem e estruturas lineares), foi realizado com o software ENVI 4.8 no processamento de 2014 e com o ArcGis 10.8 no processamento de 2023.

A extração dos lineamentos consistiu na criação de um plano de informação (shape) de linhas para vetorização dos lineamentos identificados visualmente, integrando os produtos raster (imagens com relevo sombreado e imagens com composições coloridas) e vetoriais (drenagem extraída), mantendo a escala de visualização fixa de 1:100.000.

As direções azimutais das linhas vetorizadas, que representam os lineamentos, foram obtidas através da ferramenta Spatial Data Modelle Tool, na aba Add Bearings To Line em Utilites, instalada no Arc Toolbox do ArcGis.

A comparação dos dados de direções dos lineamentos foi feita empregando-se o diagrama de roseta no programa OpenStereo (Grohmann and Campanha, 2010), onde os dados de direção dos lineamentos extraídos são evidenciados em termos de frequência relativa percentual.

Resultados e Discussão

Os dados de sensoriamento remoto utilizados apresentam características distintas como evidenciado na Tabela 1.

Os modelos digitais de elevação SRTM-Topodata e Copernicus DEM, têm resolução espacial de 30 metros, enquanto as imagens ópticas possuem resoluções espaciais conforme as bandas espectrais (Tabela 1). As bandas B4, B3 e B1 aplicadas neste estudo, têm 30 metros na imagem Landsat ETM+ e 8 metros na câmera WPM do satélite CBERS 04A.

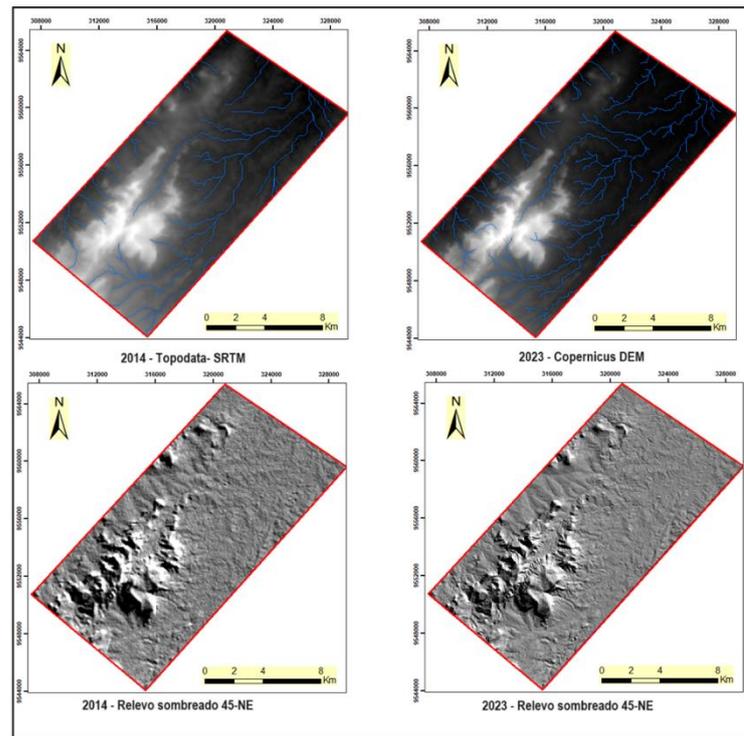
Os dados dos modelos digitais de elevação permitiram a geração de imagens iluminadas com ângulo de elevação a 45° e azimutes 0, 45, 90, 135, 180, 225, 270 e 315°, contemplando as direções principais N, S, NE, SW, E, W, SE e NW.

A Figura 2 evidencia os modelos digitais de elevação, incluindo a extração da rede de drenagem e o relevo sombreado com a iluminação artificial configurada a 45° de elevação e direção azimutal 45°. A extração automática das drenagens a partir do modelo digital de elevação foi de suma importância para o reconhecimento dos lineamentos, uma vez que existe potencial da rede de drenagem estar condicionada pelas fraturas.

Tabela 1: Parâmetros dos dados de sensoriamento remoto empregados no estudo.

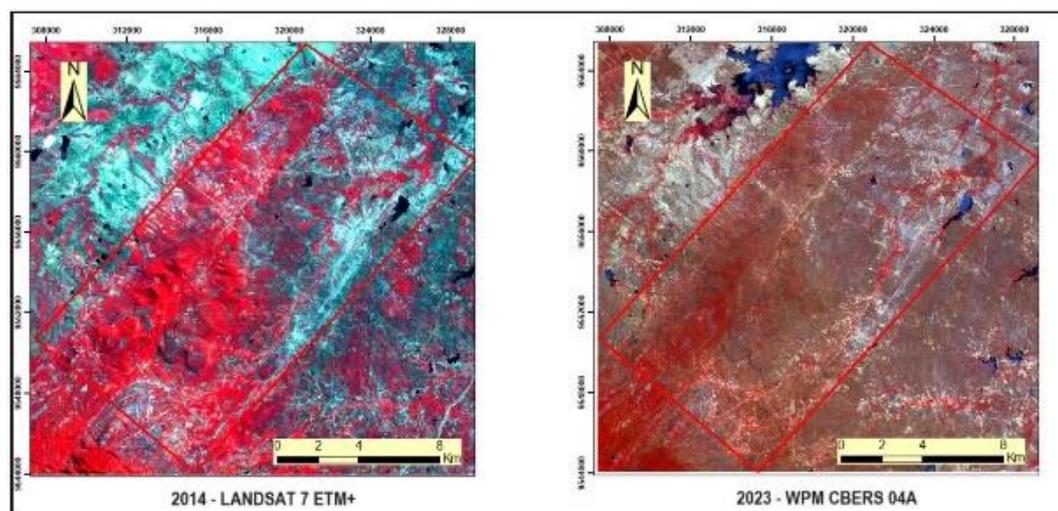
Parâmetros	2014	2023
Modelo Digital de Elevação - MDE	Modelo Digital de Terreno- MDT	Modelo Digital de Superfície-MDS
MDE - Dados	Topodata-SRTM	Copernicus DEM
MDE - Resolução Espacial	30 m	30 m
Imagens Ópticas	ETM+ LANDSAT 7	WPM CBERS 04A
Bandas Espectrais	B1-Azul B2-Verde B3-Vermelho B4-infravermelho próximo B5-Infravermelho Médio B7-infravermelho Médio B6-Infravermelho Thermal Banda Pancromática	B1-Azul B2-Verde B3-Vermelho B4-Infravermelho próximo B0-Pancromática
Bandas - Resolução Espacial	Bandas (1,2,3,4,5 e 7) - 30 metros Banda Pancromática- 15 metros Banda 6- 60 metros	Bandas (1,2,3, e 4) - 8 metros Banda Pancromática- 2 metros

Figura 2: Comparação dos modelos digitais de elevação.



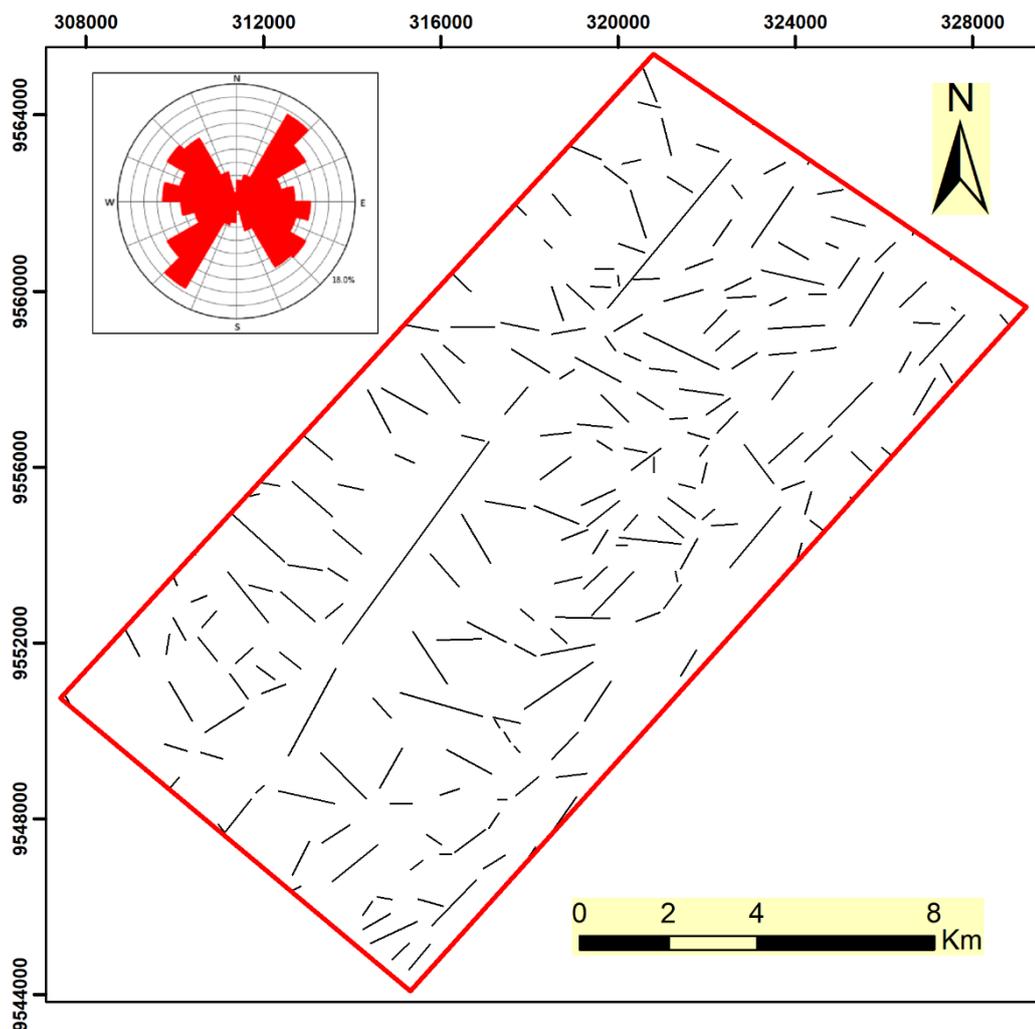
A composição de bandas das imagens dos sensores ópticos no sistema RGB que melhor evidenciou a rede de drenagem foi a RGB 431, para ambos os sensores (Figura 3), apresentando a drenagem ressaltada pelo vermelho intenso, provavelmente associada à presença de vegetação ao longo dos cursos dos rios.

Figura 3: Comparação das composições RGB 431 de 2014 e 2023.



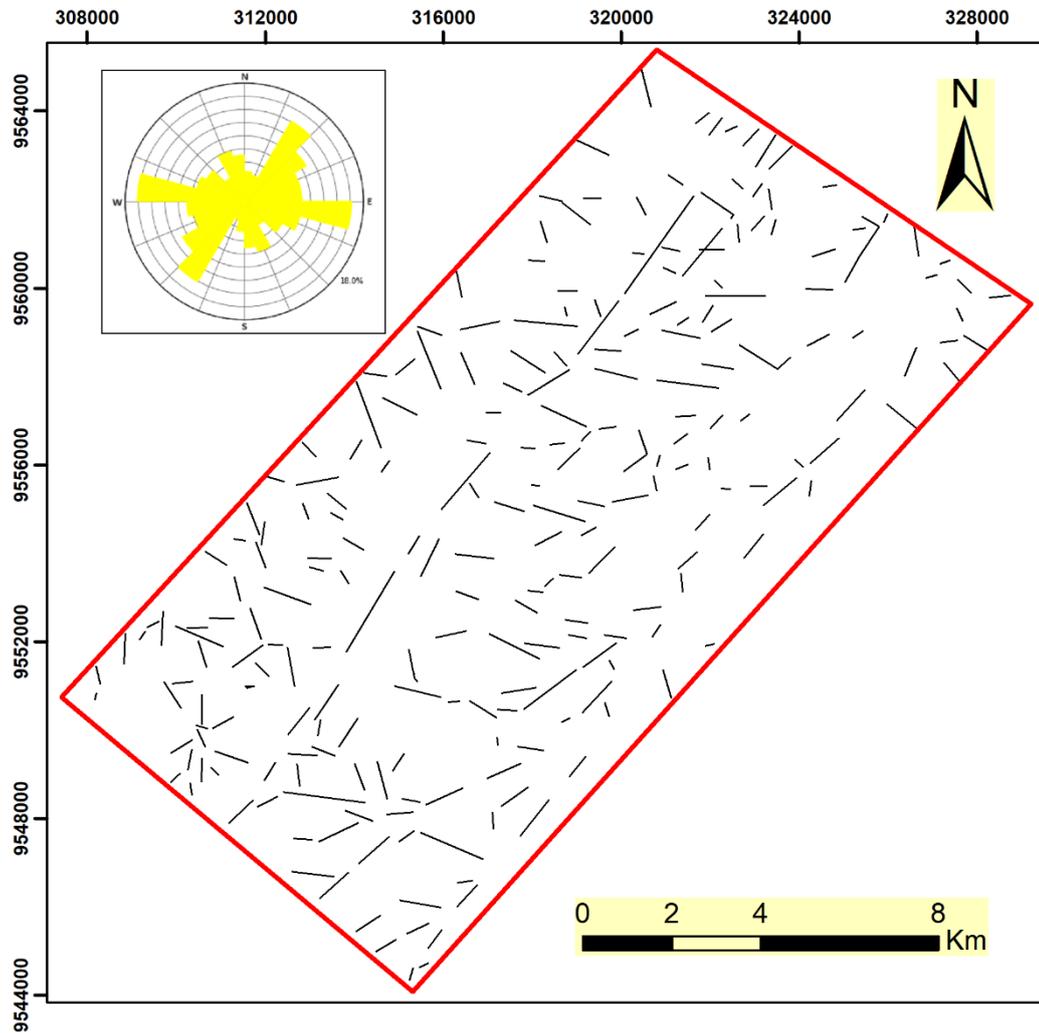
Os lineamentos interpretados visualmente e extraídos em 2014 a partir da imagem Landsat 7 ETM+, juntamente com produtos derivados do SRTM-Topodata, totalizaram 214 segmentos vetorizados, cujas direções foram plotadas em diagrama de roseta (Figura 4). Dentre os conjuntos de direções identificados (NE-SW, E-W, NW-SE), a direção com maior frequência foi NE-SW, seguida das direções NW-SE e E-W.

Figura 4: Lineamentos extraídos em 2014.



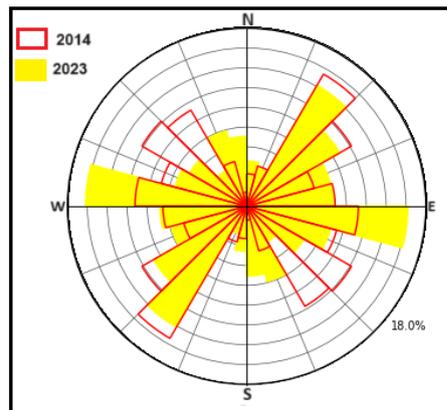
A extração dos lineamentos executada em 2023 na imagem WPN do CBERS 04A com produtos derivados do Copernicus DEM, gerou 241 lineamentos interpretados visualmente, em conjuntos de direções identificados (E-W, NE-SW, NW-SE), sendo a direção com maior frequência próxima à direção E-W, seguida das direções NE-SW e NW-SE (Figura 5).

Figura 5: Lineamentos extraídos em 2023.



Os dados das direções dos lineamentos extraídos de ambos os conjuntos de dados foram plotados no mesmo diagrama de roseta (Figura 6), para avaliação comparativa.

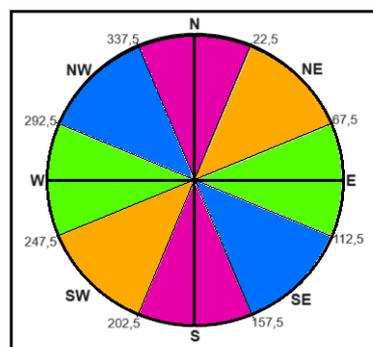
Figura 6: Comparação dos diagramas de rosetas com dados processados em 2014 e 2023.



Na comparação, observa-se que a forte tendência dos dados extraídos de 2023 na direção E-W é bem contrastante, pois os dados de 2014, apesar de evidenciarem essa direção, não apresentam uma frequência tão elevada. Já a direção NE-SW, tem uma boa representatividade em ambos os conjuntos de dados, enquanto para direção NW-SE, os dados de 2023 estão mais dispersos, diferente de 2014, os quais evidenciam uma concentração na parte central dessa direção.

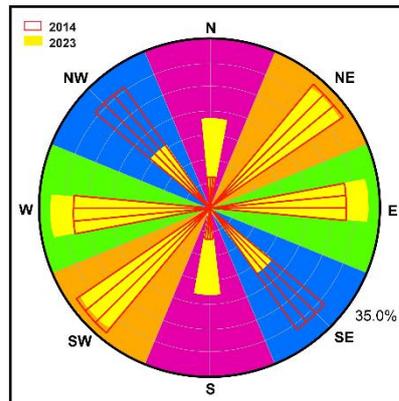
Para uma melhor avaliação comparativa das direções indicadas pelos lineamentos, gerou-se um agrupamento convencionando as direções em quatro classes de acordo com a orientação: N-S, NE-SW, E-W e NW-SE. As classes apresentadas na Figura 7 apresentam intervalos com abrangência de 45 graus em cada hemisfério do diagrama.

Figura 7: Direções convencionadas em quatro classes.



Ao considerar o agrupamento dos dados nas 4 classes estabelecidas, os mesmos mostraram a distribuição de frequências representada no diagrama da Figura 8.

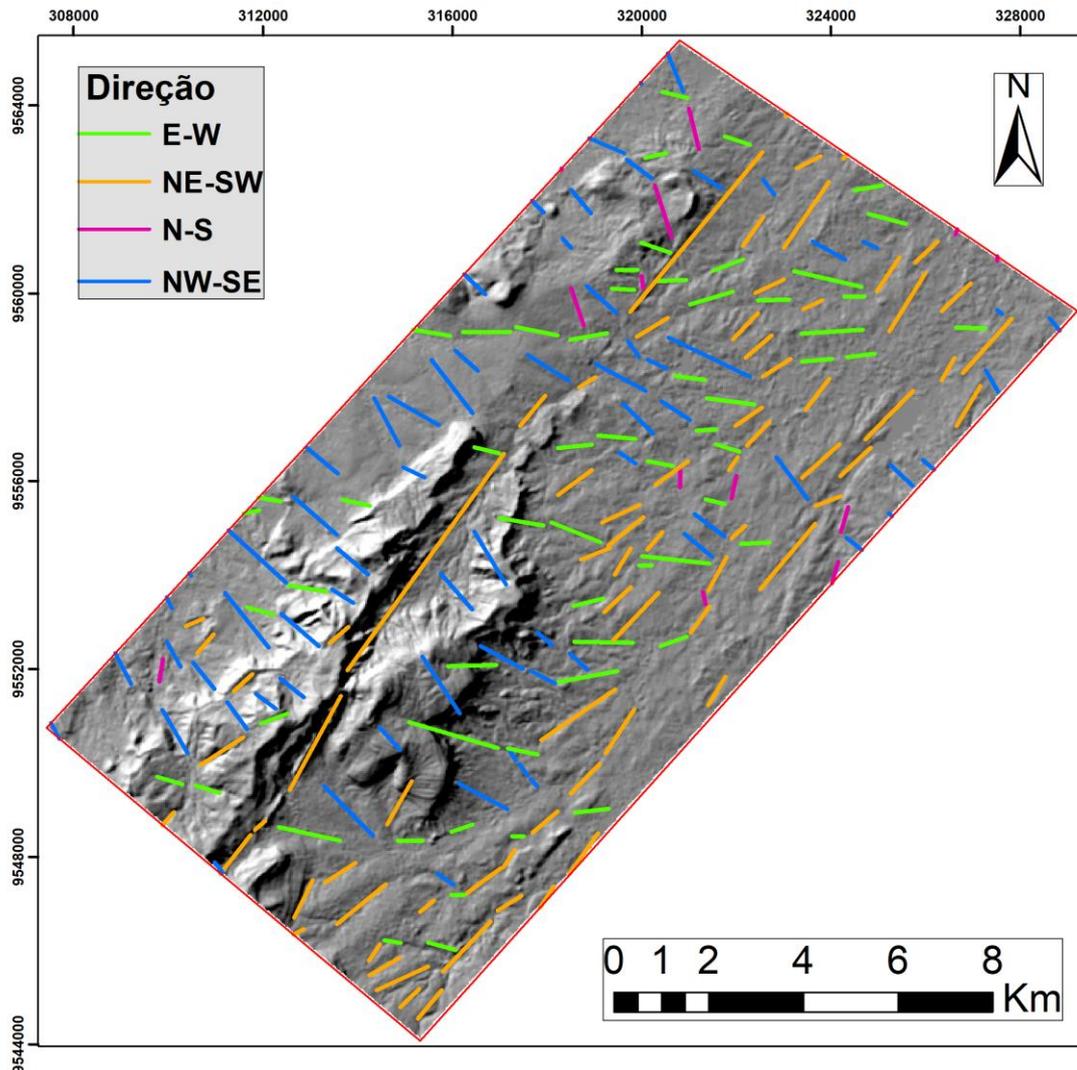
Figura 8: Diagrama de roseta com a comparação das frequências correspondentes às direções convencionadas de 2014 e 2023.



Nesse diagrama, observa-se na direção NE-SW que as frequências são elevadas para os dois conjuntos de lineamentos, atingindo em ambos os casos um percentual de frequência relativa superior a 30%. Na direção E-W, os valores são elevados para ambos os conjuntos de dados, porém apresentam uma variação de percentual: os lineamentos de 2023 se mantêm acima de 30% e os de 2014 se encontram abaixo. A maior diferença se observa na direção NW-SE, onde a frequência dos lineamentos de 2014 atinge um valor superior a 30%, enquanto o percentual dos de 2023 fica próximo de 15%. As diferenças quantitativas ainda persistem na direção N-S, mas nesse caso, todos os valores são inferiores a 20% e os lineamentos de 2023 são os que atingem maior frequência.

A fim de estudar de maneira mais detalhada as diferenças evidenciadas na análise comparativa, foram plotados os lineamentos de 2014, discriminados por direção convencional, em uma imagem de 2023 com relevo fundido, produzida através da combinação simultânea dos relevos sombreados nas direções azimutais 0, 225, 270 e 315°.

Figura 9: Lineamentos de 2014 com relevo sombreado de 2023.



A partir dessa representação, observou-se que os lineamentos de 2014 com direção NW-SE (identificados pela cor azul) apresentam uma significativa divergência em relação à orientação das feições do relevo de 2023. Notou-se também que na imagem utilizada para extração dos lineamentos de 2023, esses lineamentos não foram identificados com as mesmas direções, destacando-se que essa imagem permitiu uma vetorização de lineamentos com posição mais precisa em virtude da sua maior resolução espacial e o conseqüente aprimoramento de qualidade de visualização. Este fato resultou na identificação de lineamentos com direções diferentes e justifica também o aumento de frequência constatada nas outras direções.

CONCLUSÕES

Foi avaliada a aplicabilidade de dois conjuntos diferentes de produtos derivados do sensoriamento remoto para a identificação e a caracterização dos lineamentos da área de estudo: 1) SRTM-Topodata/ Landsat 7 ETM+ (2014) e 2) Copernicus DEM/ WPM CBERS 04A (2023).

Em ambos os casos foram obtidos resultados satisfatórios para a extração e análise de lineamentos estruturais, entretanto, destaca-se que os resultados obtidos apresentaram diferenças tanto nos percentuais de frequência das direções azimutais indicadas pelos lineamentos, quanto na quantidade de feições identificadas (27 lineamentos a mais no segundo caso).

O modelo digital de elevação do Copernicus DEM permitiu gerar imagens com relevo sombreado que propiciaram uma visualização otimizada dos lineamentos em relação ao modelo digital de elevação do SRTM-Topodata.

As imagens de composição de bandas geradas com dados do CBERS 04A apresentaram melhor resolução espacial em relação às produzidas a partir do landsat7 ETM+, resultando em uma maior precisão de vetorização dos lineamentos extraídos. Portanto, pode-se afirmar que a resolução espacial dos dados de sensoriamento remoto constitui um parâmetro importante quando se trata da extração e interpretação de lineamentos estruturais.

Do ponto de vista geológico, considerando que a área analisada se encontra próxima à zona de cisalhamento Sobral-Pedro II, foi possível associar os sistemas de fratura identificados neste trabalho com as reativações sob condições rúpteis reconhecidas para essa estrutura de magnitude regional. Futuras pesquisas envolvendo levantamentos estruturais de campo, para caracterizar qualitativa e quantitativamente o faturamento da área, serão de fundamental importância para ratificar as observações do presente estudo e avançar na identificação das causas do fraturamento.

REFERÊNCIAS

Almeida F.F.M.; Hasui Y.; Brito Neves B.B.; Fuck R.A. **Províncias Estruturais Brasileiras**. In: SBG Simp. Geol. Nordeste, 8, 1977, Campina Grande, Atas Campina Grande, p. 363-391.

Almeida F.F.M.; Hasui Y.; Brito Neves B.B.; Fuck R.A. **Brazilian Structural Province**. In: Earth Sic. Rev., 7, 1981. p. 1-29.

Amaro V.E.; Strieder A.J. **Análise de fotolineamentos e padrões estruturais em imagens de satélite**. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 38, 1994, Balneário Camboriú, Anais. p. 443-444.

European Space Agency (ESA). **Copernicus Global Digital Elevation Model**. Distributed by OpenTopography. Sinergise. 2021. Disponível em: <https://portal.opentopography.org/>. Acesso em: 31 out. 2023.

Fuck R.A.; Dantas E.L.; Vidotti R.M.; Roig H.L.; Almeida T. **Deformação Intracontinental Em Sistemas Transcorrentes: O caso do Lineamento Transbrasiliano: Geometria, Idade E Significado**. In: XIV Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, 2013, Chapada dos Guimarães-MT. Anais do XIV Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos.2013.

GLCF – **Global Land Cover Facility**, 2000. Disponível em: <http://glcf.umiacs.umd.edu/> Acesso em: 05 out. 2013.

Grohmann C.H.; Campanha, G.A., 2010. **OpenStereo**: open source, cross-platform software for structural geology analysis. AGU Fall Meeting abstracts 2010. IN31C-06.

Melo D.C.M. **Análise da tectônica rúptil associada a uma porção do lineamento transbrasileiro da Região Noroeste do Ceará integrando dados de campo, magnetométricos e de sensoriamento remoto**. 2014. f.62. Dissertação (Mestrado em geologia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

Melo D.C.M. **Análise comparativa de extração de lineamentos com base na drenagem da região noroeste do Ceará**. Fortaleza, 2023. f.36. Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Geoprocessamento Aplicado À Análise Ambiental E Aos Recursos Hídricos) - Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2023.

O'Leary D.W.; Friedman J.D.; Pohn, H.A. **Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms**. *In: Geol. Soc. Am. Bull.*, 87, 1976. p. 1463- 1469.

Pinéo, T. R. G *et al.* **Mapa Geológico do Estado do Ceará**. Escala 1:500.000. Ministério de Minas e Energia/CPRM. 2020, Fortaleza.

Quadros, M.L.E.S. **Estudo tectono-sedimentar da Bacia de Jaibaras, na região entre as cidades de Pacujá e Jaibaras, noroeste do estado do Ceará**. 1996. f. 152. Dissertação de Mestrado. Centro de Ciências, Universidade Federal do Pará, Pará, 1996.

Strieder A.J.; Amaro V.E. Estruturas de lineamentos extraídos de imagens de sensores remotos. **EGATEA: Revista da Escola de Engenharia**, Porto Alegre, v. 25, n. 4, p. 109-117, 1997.

Valeriano, M. M. **Topodata - banco de dados geomorfométricos locais do Brasil**. 2008. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/> . Acesso em: maio 2014.

Vauchez A. *et al.* The Borborema shear zone system, NE Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 8, p. 247-266, 1995.